

Aus der Sektion Biowissenschaften und der Sektion Pflanzenproduktion  
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

## **Primäre und sekundäre Wirkungen des längerzeitlichen Einsatzes von Herbiziden auf Struktur und Stoffhaushalt von Agro-Ökosystemen<sup>1</sup>**

Von Ernst-Gerhard Mahn, Klaus Helmecke, Galina Machulla, Joachim Prasse,  
Oliver Rosche und Günther Sternkopf

Mit 14 Abbildungen und 3 Tabellen

(Eingegangen am 6. Januar 1987)

### 1. Einleitung

Unter den Steuerungsmaßnahmen zur Stabilisierung bzw. weiteren Erhöhung des Ertrags landwirtschaftlicher Kulturpflanzen nehmen innerhalb der Gruppe der Pestizide die Herbizide nach wie vor eine vorrangige Stellung ein (UDL 1985). Wurde während der zurückliegenden Jahrzehnte das Hauptanliegen des Herbizideinsatzes in einer möglichst weitgehenden Vernichtung der auftretenden Segetalunkräuter gesehen, so hat sich in den letzten Jahren die Tendenz verstärkt, die Unkräuter nur so weit, wie zur Einschränkung ihrer Konkurrenzwirkungen unbedingt erforderlich, zurückzudrängen. Ursache hierfür waren vor allem folgende Erkenntnisse:

- Modus und Intensität der gegenwärtigen Herbizidanwendung lassen sich nur z. T. von der Höhe der zu erwartenden bzw. tatsächlich verursachten Ertragsverluste her begründen sondern tragen oft prophylaktischen Charakter (Gerowitt et al. 1984, Zeddies 1986),
- mit der Zurückdrängung bzw. Vernichtung herbizidsensitiver Arten wird die Entwicklung  $\pm$  herbizidunempfindlicher bzw. -resistenter Arten gefördert,
- durch die Vernichtung der Unkräuter (in einem ontogenetisch frühen Entwicklungsstadium) wird die Zufuhr organischer Substanz zum Boden verringert, wodurch die bodenbiologischen Aktivitäten negativ beeinflusst werden,
- infolge einer geringeren Bodenabdeckung während der Vegetationsperiode werden erosive Prozesse entsprechend gefördert.

In einem vorangehenden Untersuchungszyklus (vgl. Mahn et al. 1983) waren die Wirkungen von Herbiziden unterschiedlicher Persistenz und Einsatzdauer auf bestimmende Agro-Ökosystemstrukturen untersucht worden. Vorliegende Untersuchungen verfolgten das Ziel, in einem 5jährigen Zyklus die Wirkungen des Einsatzes von Herbiziden ähnlicher chemischer Struktur, aber unterschiedlichen Wirkungsspektrums mit ausschließlich geringer Persistenz auf der Strukturebene von Produzenten und ausgewählten Destruenten in einer durch Getreide (80 %) bestimmten Fruchtfolge zu analysieren (vgl. Tab. 1).

### 2. Material und Methoden

Die Erfassung der spezifischen Herbizidwirkungen (jeweils durch Vergleich von Nichtbehandlung und Standard-Herbiziddosis) erfolgte im Rahmen eines Standard-

<sup>1</sup> Herrn Prof. Dr. J. Hüsing zum 75. Geburtstag gewidmet.

Tabelle 1. Ausgewählte pflanzenbauliche und agrotechnische Kennziffern im Untersuchungszeitraum 1981–1985

Jahr	Kulturart Sorte	Variante	N-Dünger [kg/ha]	Termin	Herbizid	Menge [ha]	Spritztermin
1981	SoGerste	N1/H1	—	—	—	—	—
		N1/H2	—	—	—	—	—
		N2/H1	40	27. 04. 1981	SYS 67 ME <sup>1</sup>	1,5 kg	07. 05. 1981
1982	WiRaps/ Solux	N2/H2	40	27. 04. 1981	SYS 67 ME	1,5 kg	07. 05. 1981
		N1/H1	—	—	—	—	—
		N1/H2	—	—	—	—	—
1983	WiWeizen/ Alcedo	N2/H1	50	16. 04. 1982	—	—	—
		N2/H2	50	16. 04. 1982	—	—	—
		N1/H1	—	—	—	—	—
1984	WiGerste/ Borwina	N1/H2	—	—	SYS 67 Gebifan <sup>2</sup>	3,0 l	22. 04. 1983
		N2/H1	40	04. 04. 1983	—	—	—
		N2/H2	40	04. 04. 1983	SYS 67 Gebifan	3,0 l	22. 04. 1983
1985	Hafer/ Solidor	N1/H1	—	—	—	—	—
		N1/H2	—	—	SYS 67 Gebifan	3,0 l	04. 05. 1984
		N2/H1	40	30. 04. 1984	—	—	—
1985	Hafer/ Solidor	N2/H2	40	30. 04. 1984	SYS 67 Gebifan	3,0 l	04. 05. 1984
		N1/H1	—	—	—	—	—
		N1/H2	—	—	SYS 67 ME	1,5 kg	20. 05. 1985
1985	Solidor	N2/H1	40	14. 05. 1985	—	—	—
		N2/H2	40	14. 05. 1985	SYS 67 ME	1,5 kg	20. 05. 1985

<sup>1</sup> Wirkstoff: MCPA.<sup>2</sup> Wirkstoff: Dichlorprop.

programms jährlich zu 3 Terminen mit dem Ziel der Kennzeichnung folgender Zustände:

- Ausgangszustand kurz vor Herbizidapplikation (erfaßt zugleich mögliche Nachwirkungen vorangegangener Jahre):  
ca. 3–8 Tage vor Applikation,
- kurzfristig wirksam werdende Veränderungen vor allem als Folge der unmittelbar vorangegangenen Applikation:  
ca. 2–3 Wochen nach Applikation,

- mittelfristige, im späteren Verlauf der Vegetationsperiode als Ergebnis der aktuellen Applikation erkennbare Einflüsse auf Ökosystemstrukturen: ca. 8–10 Wochen nach Applikation.

Im Versuchszyklus 1981–1985 wurde neben den im vorliegenden Beitrag dargestellten Wirkungen des Herbizideinsatzes zugleich der Einfluß unterschiedlichen N-Angebotes analysiert. Da diese Thematik einer gesonderten Auswertung vorbehalten ist, beziehen sich – soweit nicht speziell vermerkt – die folgenden Angaben von Untersuchungen auf Produzentenebene (Phytozönose) stets auf die Standard-N-Düngungsvariante (40 bzw. 50 kg N/ha), bei den Destruenten (Bodenorganismen) auf die im gesamten Untersuchungszeitraum nicht N-gedüngte Variante.

Ergänzend zum Standard-Programm wurden für die Darstellung der Populationsdynamik einiger Segeltalarten Ergebnisse spezieller Dauerbeobachtungsflächen herangezogen, die während des Zyklus 1981–1985 zusätzlich angelegt worden waren.

Als Parameter für die Analyse der Phytozönosestruktur wurden Individuenzahl und Biomasse (oberirdisch) aller Segeltalarten erfaßt. Erfassungsgrundlage bildeten Flächen von jeweils 0,25 m<sup>2</sup> in 10facher Wiederholung pro Variante. Der Kornertrag wurde durch Ernte des Getreides mit einem Parzellenmähdrescher ermittelt.

Die Untersuchung der endogäischen Mikroarthropodengemeinschaften, der Mikroorganismen und bodenzymatischen Aktivitäten erfolgte in 0–10 cm Bodentiefe ebenfalls mit 10facher Wiederholung bei den gewählten Versuchsvarianten (zu Details der Entnahmetechnik vgl. Prasse 1979, Mahn et al. 1983).

Bei den Mikroarthropoden wurden folgende taxonomische Gruppen gesondert betrachtet:

*Collembola*

*Acari* (exkl. *Gamasina*)

- *Acaridia*

- *Oribatei*

- *Tarsonemida*

- übrige *Prostigmata*

*Gamasina*

Von den Mikroorganismen wurden die Gesamtbesiedlungsdichten von Bakterien, Pilzen und Aktinomyceten sowie die Anteile der proteolytischen und zellulolytischen Bakterien im Zeitraum 1981–1985, die Dyhydrogenaseaktivität ab 1984 ermittelt.

Die Analyse der Herbizidrückstände (0–20 cm Tiefe) erfolgte dünnschichtchromatographisch, wobei die Nachweisgrenze aller Methoden bei 0,01 ppm lag (zur Methodik vgl. in Mahn et al. 1983).

Zur Prüfung und Auswertung der Ergebnisse bedienten wir uns sowohl statistischer Standard-Testverfahren (*F*-, *t*-Test, Varianzanalyse) sowie einiger spezifischer multivariater mathematischer Auswerteverfahren. Bei den Mikroarthropoden erfolgte neben der Analyse der Abundanzen und Dominanzen die Darstellung der veränderten Komplexität auf der Grundlage des Shannon-Wiener-Index bzw. der Dominanzstruktur auf der Basis des vom letztgenannten Index abgeleiteten partiellen Informationsmaßes (vgl. Stöcker und Bergmann 1977).

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Herbizidabbau

Die im Untersuchungszeitraum eingesetzten beiden Herbizide auf Wirkstoffbasis SYS 67 ME (MCPA) und SYS 67 Gebifan (Dichlorprop) wiesen erwartungsgemäß nur eine geringe Persistenz auf (Tab. 2). Bereits nach wenigen Wochen waren die Wirkstoffe nur noch in Spuren nachweisbar. Hingewiesen sei auf die deutliche Verzögerung

Tabelle 2. Herbizidrückstände im Boden 1981–1985

Jahr	Herbizid	Angewendete Menge pro ha	Rückstände [ppm]	Nach Wochen
1981	SYS 67 ME	1,5 kg	0,05	3
1982	keine Applikation	—	—	—
1983	SYS 67 Gebifan	3 l	0,55 0,1	3 10
1984	SYS 67 Gebifan	3 l	0,2	3
1985	SYS 67 ME	1,5 kg	0,1	3

des Herbizidabbaus, die sich auch bei Herbiziden geringer Persistenz, wie den von uns verwendeten, in Jahren mit geringen Niederschlägen nach der Applikation (1983) nachweisen läßt. Anders als im vorangehenden Untersuchungszyklus (vgl. Mahn et al. 1983) ließen sich jedoch Nachwirkungen verzögerten Herbizidabbaus in der Folgekultur auf Produzentenebene nicht feststellen.

### 3.2. Strukturebene der Produzenten

#### 3.2.1. Unkrautzönose

Die Beeinflussung der Zönosestruktur bei Applikation von Herbiziden wird zwar in erster Linie durch deren spezifische Wirksamkeit (Selektivität) gegenüber den im jeweiligen Ökosystem auftretenden Segetalarten bestimmt. Doch bestehen eine Reihe weiterer Abhängigkeiten, von denen vor allem folgende genannt seien:

- Länge des durch die jeweilige Kulturart (Halm-/Hackfrucht, Winter-/Sommerkultur) vorgegebenen Entwicklungszeitraumes, der z. B den Anteil winter- bzw. sommerannueller Arten entscheidend bestimmt,
- Witterungsablauf, wobei besonders auf die kritischen Perioden im Winter (Frostdauer und -stärke) und Frühjahr (besonders Trockenheit) hingewiesen sei.

Auf die Rolle dieser Einflußgrößen speziell für die Dynamik einzelner Arten wurde bereits bei der Analyse früherer Ergebnisse aufmerksam gemacht (vgl. Helmecke und Mahn 1984). Wir möchten in bezug auf ihre Bedeutung für die Interpretation der Ergebnisse des Herbizideinsatzes im vorliegenden Untersuchungszeitraum (Abb. 1) folgende Aussagen treffen:

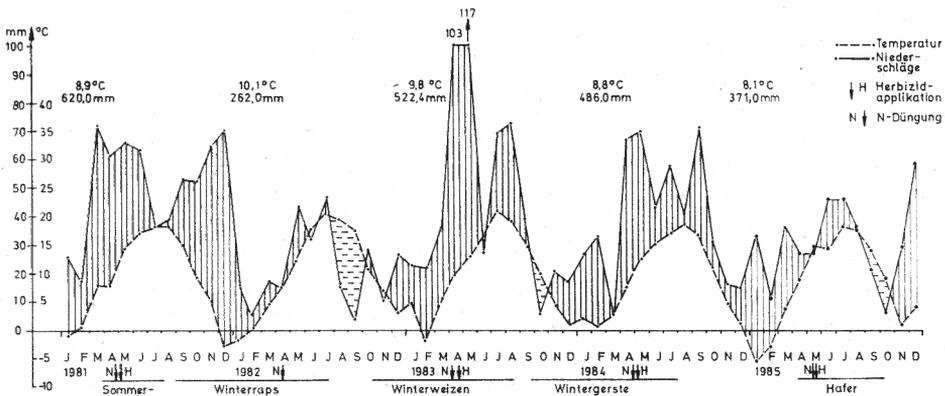


Abb 1. Niederschläge und Temperaturverhältnisse im Zeitraum 1981–1985 (Daten der Station Bad Lauchstädt)

Längere (zumindest mehrwöchige) Trockenperioden im Zeitraum April – Juni, d. h. während der wichtigsten Entwicklungsabschnitte von Segetalzönosen in Kulturen mit Beendigung des Entwicklungszyklus im Hochsommer, gewinnen mit zunehmender Dauer entsprechenden Einfluß auf die weitere Entwicklung. Bei winterannuellen Kulturen gilt ähnliches für Trockenperioden, die während der Startphase (September/Oktober) auftreten (Herbst 1985).

Die Entwicklung der Segetalzönose ist während extremer Trockenperioden (wie 1982, vgl. Abb. 1) durch eine stark verringerte Gesamtindividuumdichte gekennzeichnet, die während des gesamten Entwicklungszyklus anhält (Abb. 2). Hiervon sind unbehandelte wie behandelte Variante gleichermaßen betroffen. Aber auch kürzere Trockenperioden wirken sich oft entsprechend aus und führen, wie 1983, zu einer frühzeitigen Verkürzung des Entwicklungszyklus. Andererseits wird die Erhaltung einer hohen Individuumdichte durch gleichmäßig günstige Wasserversorgung während der Vegetationsperiode (1984) gefördert und offenbar der Konkurrenzeffekt durch die Kulturart verringert.

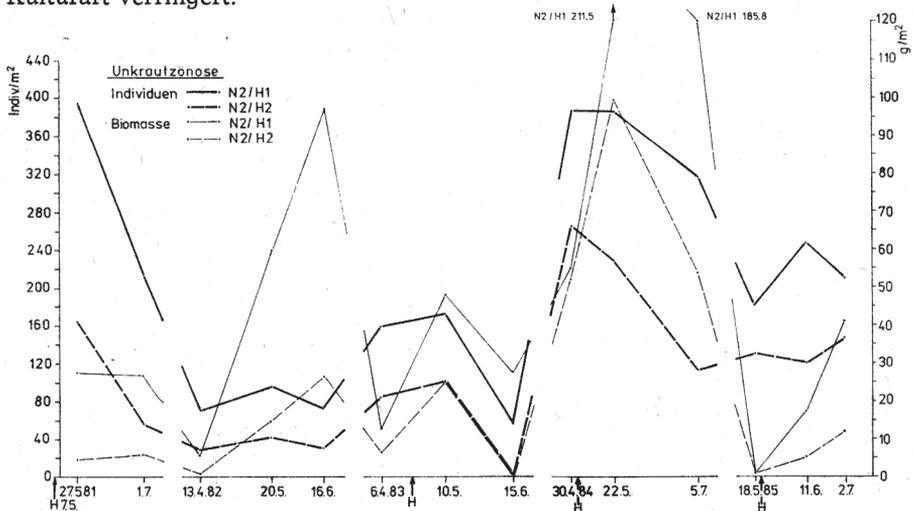


Abb. 2. Entwicklung der Unkrautzönose im Zeitraum 1981–1985 (Individuen/m<sup>2</sup>, Biomasse g Trg/m<sup>2</sup>). Es bedeuten: N2 = Standard N-Düngung (40 bzw. 50 kg/ha · a), H1 = ohne Herbizide, H2 = mit Herbiziden

Der Einfluß der kulturartspezifischen Länge des Entwicklungszyklus wirkt sich im Untersuchungszeitraum nur im Jahr 1985 mit einer erwartungsgemäß niedrigeren Individuumdichte bei sommerannueller Kultur (Hafer) aus. Deutlicher wird die Rolle der Verkürzung des potentiellen Entwicklungszyklus der Segetalzönose bei der Analyse der Biomassewerte (Abb. 2). Hier zeigt sich für beide Jahre mit sommerannuellen Kulturen (1981, 1985) deutlich, welchen Einfluß der späte Startzeitpunkt auf die Entwicklung der Gesamtbiomasse besitzt.

Es bestätigt sich somit, daß der Einfluß der beiden zuletzt betrachteten Faktoren (Witterung, Kulturart) auf die Dynamik der Segetalzönose im Untersuchungszeitraum unbedingt mit in Betracht zu ziehen ist, wenn man die Rolle des Herbizideinsatzes selbst hinsichtlich seiner strukturverändernden Wirkung quantifizieren will (vgl. auch Hurlé 1985).

Schließt man dies ein, so ergibt sich als Aussage für die Wirkungen der (außer 1982) jährlichen Herbizidapplikation auf die Gesamtzönose, gemessen an den Strukturparametern Individuenzahl und Biomasse, folgendes Bild:

- Zwischen behandelter und unbehandelter Variante bestehen zu den meisten Terminen klare, oft signifikante Unterschiede.
- Da diese Unterschiede hinsichtlich Individuenzahl (stärker) wie Biomasse (schwächer) bereits vor der jährlichen Applikation vorhanden sind, lassen sie sich als akkumulative Effekte vorangegangener wie im Untersuchungszeitraum insgesamt wirksam werdender Herbizidbehandlungen interpretieren.
- Der zwischen Behandlungs- und Nichtbehandlungsvarianten bestehende Abstand ist zwar in den einzelnen Jahren unterschiedlich groß, weist aber während des Untersuchungszeitraumes keine zunehmende Tendenz auf. Das bedeutet, daß die auf den unbehandelten Parzellen vorhandene Zönose das zwischen ihr und den Individuen der Kulturart bestehende Gleichgewicht nicht grundsätzlich weiter zu ihren Gunsten zu verschieben vermag. Offenbar bestimmen vor allem die annuellen, spezifisch wirksam werdenden Einflußgrößen (s. o.), inwieweit sich die Bedingungen für die Entwicklung der Segetalzönose ihrem spezifischen Optimum zu nähern vermögen.
- Bei Aussetzen der Behandlung (1982) vermochten die Individuen der Segetalzönose das Fehlen dieser Störung nur begrenzt für die Verlängerung ihres Entwicklungszyklus bzw. die Erhöhung der Biomasse zu nutzen. Diese Tatsache weist darauf hin (vgl. auch Helmecke und Mahn 1984), daß Unterbrechungen einer annuell-kontinuierlichen Herbizidapplikation nicht automatisch zu einer gravierenden Förderung der Segetalzönose führen müssen, die sich negativ auf den Ertrag der Kulturart auswirkt.

### 3.2.2. Dynamik einzelner Arten

Unter Berücksichtigung der bereits für die Entwicklung der Gesamtzönose getroffenen Feststellungen möchten wir im folgenden versuchen, beispielhaft die sich aus der Herbizidapplikation für die Populationsentwicklung der Einzelarten während des Untersuchungszeitraumes ergebenden Veränderungen darzustellen.

Für mittelfristige Zeiträume (5–10 Jahre) lassen sich bei Fruchtfolgen, in die zumindest in 2- bis 3jähriger Folge eine sommerannuelle Kulturart eingeschaltet ist, Muster der Populationsentwicklung finden, für die die folgenden Beispiele stehen mögen.

1. Steil verlaufender Populationsanstieg in einzelnen Jahren. Konkurrenz für die Kulturart bleibt bei Einsatz entsprechend selektiver Herbizide von begrenzter Bedeutung:
  - a) bevorzugt in winterannuellen Kulturen,  
Beispiel: *Papaver rhoeas*
  - b) bevorzugt in sommerannuellen Kulturen,  
Beispiel: *Chenopodium album*

Rascher Zusammenbruch der Population bei ungünstig veränderter Rolle einzelner, ihre optimale Entfaltung bestimmender Umweltvariablen im Folgejahr. Ihr Anteil an der Zönosestruktur bleibt dann oft „unterschwellig“.
2. Population ist  $\pm$  regelmäßig an der Struktur der Gesamtzönose beteiligt. Ungeeignete Herbizidwahl kann jedoch zu einer erheblichen Förderung der Populationsentwicklung in einzelnen bzw. einer Folge von Jahren führen und die betreffende Art zum Problemunkraut werden lassen.  
Beispiel: *Galium aparine*.
3. Populationen, die sich bei fehlender Herbizidbehandlung im Verlauf mittelfristiger Zeiträume allmählich aufbauen, d. h. zunehmende Tendenz zeigen.
  - a) durch geeignete Herbizide relativ leicht eingrenzbar  
Beispiel: *Cirsium arvense*

- b) durch Herbizide relativ schwer eingrenzbar  
 Beispiel: *Viola arvensis*.

Die Parameter Individuenzahl bzw. Biomasse liefern dabei aus verschiedener Sicht Informationen zur Interpretation des beobachteten Gesamtverlaufs der Populationsentwicklung.

*Papaver rhoeas* (Abb. 3) erreichte im Untersuchungszeitraum nur in den Jahren 1983 und 1984 höhere Individuendichten. Eindeutig gefördert wurde diese Entwicklung durch zwei aufeinanderfolgende winterannuelle Populationszyklen. Die vor der Applikation im Frühjahr in beiden Jahren vorhandenen Individuenzahlen lassen dabei folgende Aussagen zu:

- In beiden Jahren ist mit einer  $\pm$  stark erhöhten Stoffproduktion von *Papaver rhoeas* zu rechnen.
- Die Höhe der zu erwartenden Biomasse läßt sich - da von später wirksam werden den Einflußgrößen abhängig - jedoch nur begrenzt voraussagen. Dies machen die sehr unterschiedlichen Biomasse-Werte 1983 und 1984 bei ähnlich hohen Individuendichten deutlich. Ein effektiver Herbizideinsatz reduzierte die Biomasse von *Papaver rhoeas* in der Behandlungsvariante 1984 auf ca. 23 % gegenüber der Kontrolle.

*Chenopodium album* und *Ch. ficifolium* (gemeinsam erfaßt) sind typische Vertreter mit sommerannuellem Zyklus (vgl. Helmecke und Mahn 1984). Betrachtet man die Individuenentwicklung beider Arten, so wird deren geringe Konkurrenzkraft in winterannuellen Kulturen (durch ihren vergleichsweise späten Start) deutlich (Abb. 3). Die Individuenentwicklung beider Arten zeigt, daß diese auch in den Jahren mit

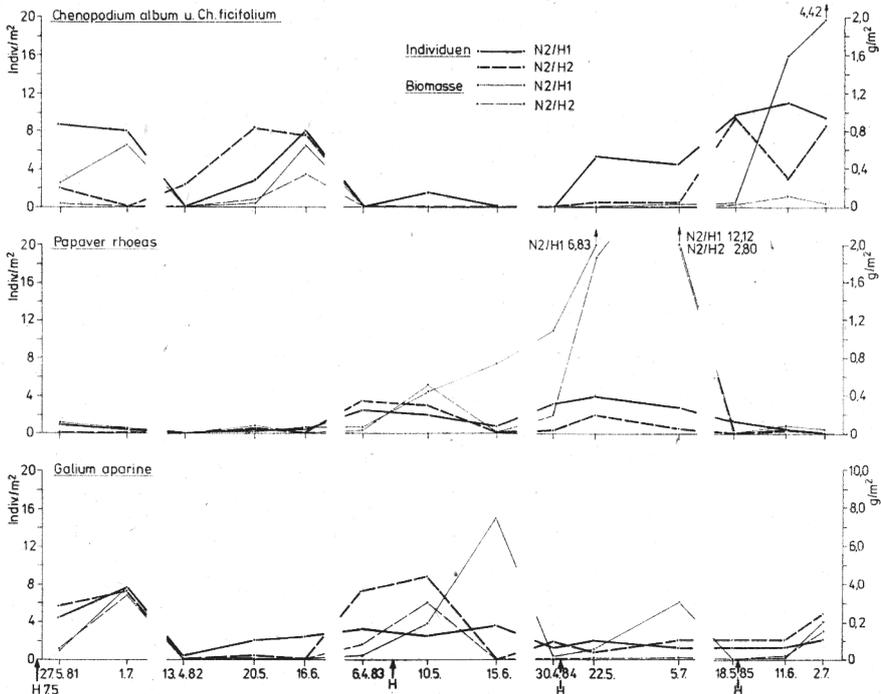


Abb. 3. Dynamik der Populationsentwicklung (Individuen, Biomasse) von *Papaver rhoeas*, *Chenopodium album* + *Ch. ficifolium*, *Galium aparine* 1981-1985 (Symbolerläuterungen vgl. Abb. 2)

winterannuellem Zyklus (1983, 1984) nicht nur in der Seedbank präsent sind, unter diesen Bedingungen aber die Stoffproduktion sehr gering bleibt.

Interessant ist die Entwicklung im Jahr 1982 insofern, als hier auffallenderweise eine erhöhte Biomasseentwicklung auch in einer Winterkultur (Raps) erfolgte. Ursache hierfür ist vor allem die geringe Konkurrenzkraft der Kulturart im betreffenden Anbauzyklus infolge starker Schädigung und langer Regenerationsphase nach extremen Winterbedingungen (vgl. Abb. 1). Die bestimmende Rolle eines frühen Startzeitpunktes für die Höhe der Biomasse bei Arten wie *Chenopodium album* und *Ch. ficifolium* während ihres sommerannuellen Zyklus wird daraus ersichtlich, daß verspätet auflaufende Teilpopulationen nicht mehr zu einer nennenswerten Erhöhung der Biomasse der Gesamtpopulation beitragen.

*Galium aparine* gehört, wie die Ergebnisse vorangehender Untersuchungen gezeigt haben (Helmecke und Mahn 1984, Mahn 1984), zu den Problemunkräutern innerhalb unserer Phytozönose. Die Rolle eines effektiven Herbizideinsatzes zur Kontrolle der Populationsentwicklung weisen die Ergebnisse des vorliegenden Untersuchungszyklus klar aus (Abb. 3). Die Applikation von MCPA (1981, 1985) bleibt von geringem Einfluß auf Individuenzahl und Biomasse, wie die weitgehenden Übereinstimmungen zwischen Behandlungsvarianten und Kontrolle ausweisen. Auch bei Einsatz selektiv wirksamer Herbizide in den Jahren 1983, 1984 ist *Galium aparine* als Element der Zönose stets apparent vorhanden. Doch wird unter diesen Bedingungen der Aufbau der Populaion bzw. deren Stoffproduktion entscheidend gebremst.

*Cirsium arvense* ist ein gutes Beispiel für Arten, die bei fehlender chemischer und mechanischer Kontrolle innerhalb weniger Jahre ihren Populationsanteil an der Gesamtpopulation der Segetalzone erheblich auszuweiten vermögen. Das verdeutlicht die Entwicklung der Art im Verlauf unseres Untersuchungszeitraumes (Abb. 4). Abhängigkeiten eines spezifisch kulturartbedingten Einflusses auf den Entwicklungszyklus ließen sich dabei nicht erkennen. Doch wird die Entwicklung offensichtlich in getreidereichen Fruchtfolgen gefördert (vgl. Sturny et al. 1984). Daß die Art durch Standardherbizide gut zu kontrollieren ist, verdeutlichen die Werte für die Behandlungsvariante.

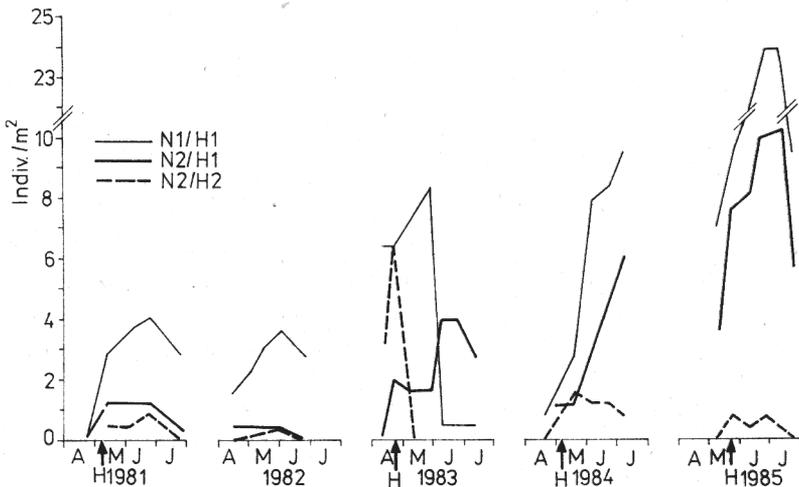


Abb. 4. Dynamik der Populationsentwicklung (Individuenzahlen) von *Cirsium arvense* 1981–1985, verändert nach Kemter (Symbolerläuterungen vgl. Abb. 2)

Die Entwicklung oberirdischer *Cirsium*-Sprosse wird offensichtlich gefördert, wenn die Kulturart infolge beschränkten N-Angebotes keine dicht schließenden Bestände zu bilden vermag (vgl. Abb. 4, N-Mangel-Variante).

*Viola arvensis* zeigte auf unserer Ökosystem-Versuchsfläche im Untersuchungszeitraum eine deutliche Zunahme ihrer Individuenzahlen (Abb. 5). Im Gegensatz zu *Cirsium arvense* läßt sich allerdings eine (wenn auch geringere) Erhöhung der Individuenzahlen auf den Behandlungsvarianten feststellen (vgl. Pötsch und Busch 1985). Offensichtlich blieb die Wirkung der im Zeitraum 1981–1985 eingesetzten Herbizide gegenüber *Viola arvensis* begrenzt.

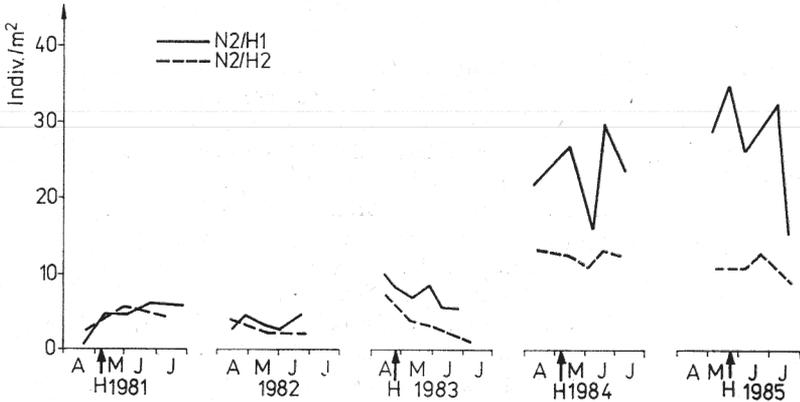


Abb. 5. Dynamik der Populationsentwicklung (Individuenzahlen) von *Viola arvensis* 1981–1985, verändert nach Kemter. Es bedeutet N1 = ohne N-Düngung (weitere Symbolerläuterungen vgl. Abb. 2)

Die vorgestellten Beispiele stellen eine Auswahl der von uns analysierten Arten dar. Sie verdeutlichen jedoch die Notwendigkeit, bei gezielten Eingriffen in das Zönosegefüge durch Herbizide die hiervon ausgehenden Wirkungen nicht nur kurz-, sondern längerfristig zu analysieren, da sich sonst akkumulative Effekte, besonders bei langsamerem Verlauf von Veränderungen, einer entsprechenden Kontrolle und rechtzeitigen Prognose entziehen.

### 3.2.3. Einfluß des Herbizideinsatzes auf den Kornertrag

Prüft man den Zusammenhang zwischen der durch Herbizidapplikation erfolgten Biomasseverringering der Unkrautzönose (insgesamt) und dem nachfolgenden Korn-ertrag der Kulturart, so zeigt sich folgendes (Abb. 6). Nur in einem Jahr (1984)

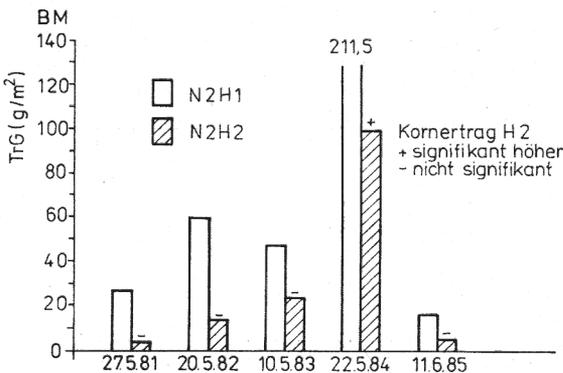


Abb. 6  
Einfluß der Herbizidapplikation auf die Biomasseentwicklung der Unkrautzönose (in g Trg/m<sup>2</sup>) 2–3 Wochen nach Applikation 1981–1985 und auf den Kornertrag (Signifikanzprüfung durch t-Test, Symbolerläuterungen vgl. Abb. 2)

äußerte sich die durch Herbizidapplikation erfolgte Reduzierung der Stoffproduktion der Unkrautzönose in signifikant höheren Kornerträgen. Wie bereits anderen Orts dargelegt (Mahn 1986), wird offenbar nur in den Fällen, in denen die Stoffproduktion der Unkrautzönose bis Mitte (Ende) Mai einen kritischen Biomasse-Schwellenwert erreicht, der unter unseren Bedingungen bei ca. 60–70 g/m<sup>2</sup> (Tr. g.) liegt, die Biomassebildung der Kulturart so stark beeinflusst, daß dies zu einer Verringerung des Kornertrages gegenüber den Herbizidbehandlungsvarianten führt. Auf diese Tatsache wird auch von anderen Autoren (z. B. Wahmhoff und Heitefuß 1984) nachdrücklich aufmerksam gemacht bzw. auf die Notwendigkeit einer Überprüfung jährlicher, d. h. prophylaktischer Herbizidanwendungen verwiesen (vgl. Marshall 1985).

### 3.3. Strukturebene der Destruenten

#### 3.3.1. Mikroarthropoden(zönosen)

##### 3.3.1.1. Gesamtabundanz, Gruppenabundanz

Die Gesamtabundanz der Mikroarthropoden-Gemeinschaft sowie die Abundanz der Mikroarthropodengruppen – im folgenden als Gruppenabundanz bezeichnet – sind für die einzelnen Probennahmetermine des Untersuchungszeitraumes in Abbildung 7 dargestellt.

Auffallend ist zunächst die zu verschiedenen Terminen unterschiedliche Höhe der Gesamt- und Gruppenabundanzen in der Kontrollvariante als Ergebnis des aktuellen bzw. vorangegangenen Einwirkens der die Zönosen beeinflussenden Faktoren, insbesondere des Klimas, der Witterung, der Vegetation sowie der entsprechenden anthropogenen Maßnahmen.

Die Auswirkungen der Herbizidapplikation auf die Gesamtabundanz zeigen sich im Verlauf der Untersuchungen in mehr oder weniger starken Verminderungen vom 3. Probennahmetermin 1981 an. In 4 Fällen konnte dabei Signifikanz der Unterschiede nachgewiesen werden (1. Termin 1982; 2. u. 3./1983; 3./1985). Zum letztgenannten Termin kommt es mit um 32 % geringeren Individuenzahlen in der herbizidbehandelten Variante zur größten Abweichung gegenüber der Kontrolle (vgl. Abb. 8).

Insgesamt lassen sich sowohl kurzfristige wie längerfristige Wirkungen der Herbizideinsätze feststellen. So ist die zu allen Probennahmeterminen des 2. UJ<sup>1</sup>, in dem kein Herbizid ausgebracht wurde, geringere Gesamtabundanz in H<sub>2</sub> als Folge der vorjährigen bzw. noch länger zurückliegender Applikationen zu deuten. Dagegen dürften die zum 2. und 3. Termin 1983 und 3. Termin 1985 signifikant geringeren Mikroarthropodendichten in der herbizidbehandelten Variante zu einem großen Teil auf kurzfristige Veränderungen infolge der wenige Wochen vorausgegangenen Applikation zurückzuführen sein, wenngleich sich wahrscheinlich kurz- sowie längerfristige Veränderungen überlagern.

Die Analyse der Gruppenabundanzen läßt erkennen, daß die Mikroarthropodenzönosen zu verschiedenen Zeitpunkten einerseits recht unterschiedlich auf die Herbizidbehandlung reagieren (z. B. 3. Termin/1. UJ, 1. u. 2./4. UJ), andererseits weitgehend übereinstimmende Reaktion zeigen (2. Termin/2. UJ, 3./5. UJ). Überwiegend kommt es infolge der Herbizidapplikation zur Verminderung der Besiedlungsdichte der Mikroarthropodengruppen, die jedoch teilweise bis zur erneuten Applikation im Folgejahr wieder ausgeglichen ist. In der Tendenz höhere Abundanzwerte in der Herbizidvariante wurden bei den *Oribatei* im Juni 1983 und bei den Tarsonemiden im Juli 1981 beobachtet, allerdings konnte für die Unterschiede zur Kontrolle keine Signifikanz festgestellt werden.

<sup>1</sup> UJ = Untersuchungsjahr.

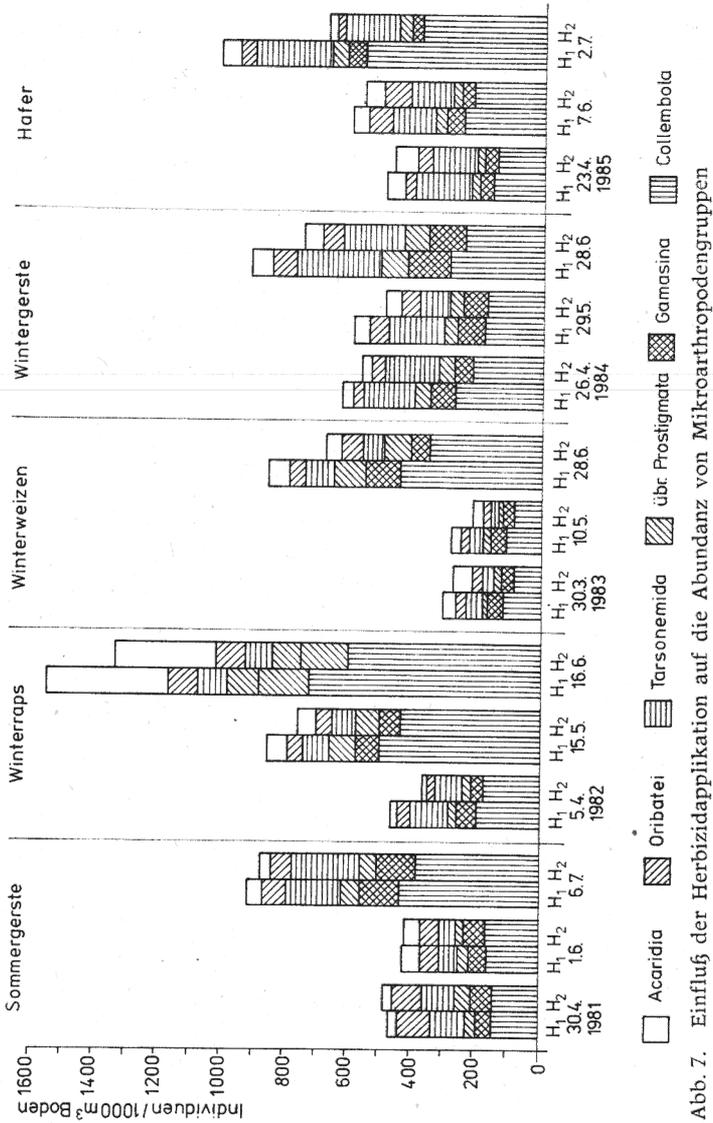


Abb. 7. Einfluß der Herbizidapplikation auf die Abundanz von Mikroarthropodengruppen

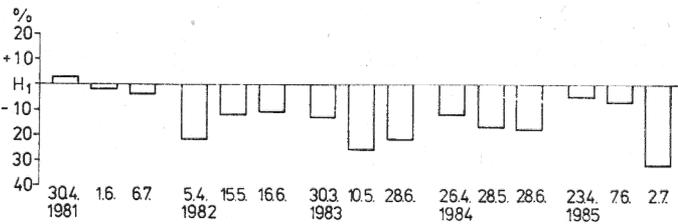


Abb. 8. Prozentuale Abweichung der Individuendichte der Collembolen- und Milbengemeinschaft in der Variante H2 (herbizidbehandelt) im Vergleich zur Kontrolle (H1)

3.3.1.2. Artenspektrum

Insgesamt wurden im Untersuchungszeitraum 18 Arten und 1 Artengruppe der *Collembola* sowie 63 Arten der *Acari* nachgewiesen. Von den letztgenannten entfielen 9 Arten auf die *Oribatei*, 5 Arten auf die *Acaridia*, 19 Arten fielen auf die *Tarsonemida*, 13 Arten auf die übrigen *Prostigmata*, 2 Arten auf die *Uropodina* und 15 Arten auf die *Gamasina*.

Aus Abbildung 9 geht hervor, daß die Artenzahlen der *Collembola*, *Acari* (exkl. *Gamasina*) und *Gamasina* in der Kontrollvariante zu den Zeitpunkten der Probenahme in z. T. unterschiedlicher Höhe vorliegen. Wie die Untersuchungen ergaben, sind die meisten Arten zu allen Probennahmeterminen präsent, nur wenige treten zu vereinzelter Terminen auf bzw. fehlen gelegentlich in den Proben. Dabei handelt es sich fast ausschließlich um Vertreter mit äußerst geringer Abundanz, die in den meisten Fällen 1–2 Ind./1000 cm<sup>3</sup> Boden aufweisen. Entsprechend niedrig liegen die Konstanzwerte.

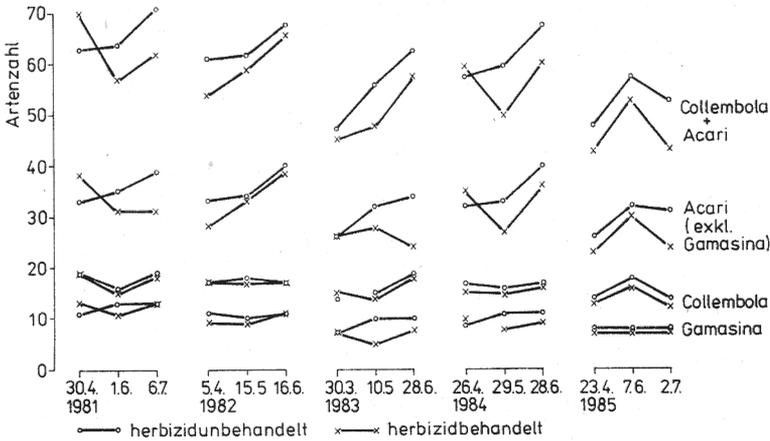


Abb. 9. Artenzahlen der Mikroarthropoden sowie einzelner Gruppen in den Varianten H1 (herbizidunbehandelt) und H2 (herbizidbehandelt)

Beim Vergleich der Artenzahlen in den Varianten H<sub>1</sub> und H<sub>2</sub> fallen die fast durchweg geringeren Werte in H<sub>2</sub> auf. Die Differenzen zur Kontrolle sind ausnahmslos auf das Fehlen rezedenter Arten in H<sub>2</sub> zurückzuführen. Analysen ergaben, daß nicht dieselben Arten über längere Zeiträume fehlen, sondern vielmehr tauchen diejenigen Arten, die zu einem bestimmten Probennahmetermin in der herbizidbehandelten Variante nicht nachgewiesen werden konnten, zu einem späteren Zeitpunkt in den Proben wieder auf. Diese Tatsache läßt vermuten, daß sich mit der bereits konstatierten geringeren Gesamtabundanz der Mikroarthropodengemeinschaft infolge der Herbizidapplikation die Besiedlungsdichte einzelner rezedenter Arten dermaßen verdünnt, daß ihre Erfassung mit der angewendeten Methodik der Probenahme weitgehend dem Zufall überlassen bleibt. Aus den festgestellten geringeren Artenzahlen der Mikroarthropoden, insbesondere der *Acari* (exkl. *Gamasina*) kann deshalb nicht auf einen Einfluß der Herbizidgaben auf das Artenspektrum der Collembolen- und Milbengemeinschaft geschlossen werden.

3.3.1.3. Individuenabundanzen, Individuendominanzen

Hier sollen jene Arten berücksichtigt werden, die zum überwiegenden Teil der Untersuchungstermine in den Gruppen *Collembola*, *Acari* (exkl. *Gamasina*) und *Gamasina* dominant, d. h. mit einer relativen Abundanz  $\geq 4\%$ , auftreten. Zum einen sind

nur unter den Dominanten einige Arten mit für einen Variantenvergleich ausreichend hoher Abundanz und Konstanz zu finden, zum anderen werden Besiedlungsdichte und Abundanzdynamik der Faunengruppen hauptsächlich durch die dominanten Arten bestimmt.

Die relativen Abundanzen der zur Mehrzahl der Probennahmeterminen dominanten Collembolenarten gehen aus der Abbildung 10 hervor. Bei der Betrachtung der Kontrollvariante fällt auf, daß stets dieselben 5 Arten und eine Artengruppe zu jedem Termin mehr als 2/3 der Gruppenabundanz der Collembola stellen. Des weiteren wird beim Vergleich der Dominanzwerte der Arten zu verschiedenen Zeitpunkten deutlich, daß diese eine eigene Abundanzdynamik besitzen, welche von der der Gruppenabundanz mehr oder weniger stark abweicht.

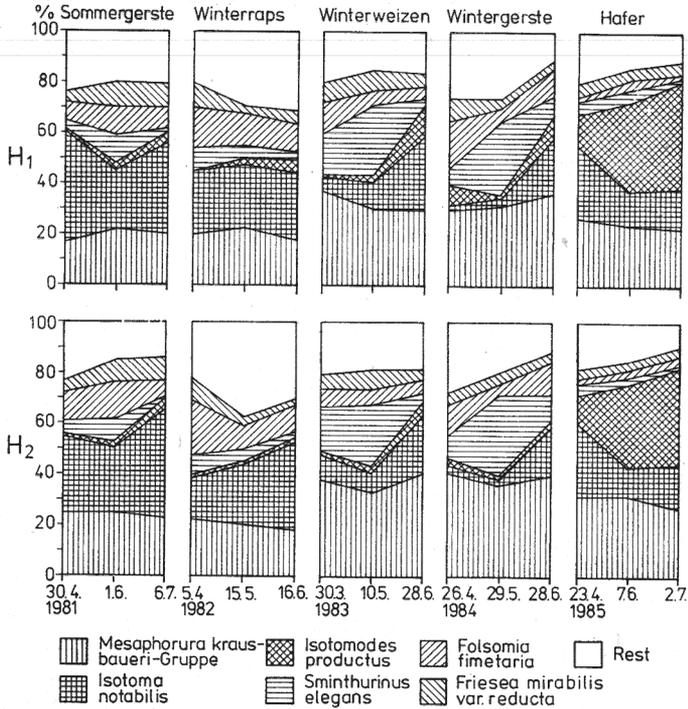


Abb. 10. Relative Abundanz ausgewählter Arten der Collembola unter dem Einfluß der Herbizidapplikation

Beim Vergleich der Dominanzwerte der Arten zwischen den Varianten  $H_1$  und  $H_2$  lassen sich zu den Untersuchungsterminen Differenzen feststellen. Dafür sollen im folgenden einige Beispiele gegeben werden. Die Dominanz der *Mesaphorura krausbaueri*-Gruppe ist besonders im 3. bis 5. UJ in  $H_2$  erhöht. Mit Werten von jeweils rund 30 % in  $H_1$  und 41 % in  $H_2$  bestehen im Juni 1983 und April 1984 die größten Abweichungen zur Kontrolle.

*Isotoma notabilis* weist bereits zum 1. Termin des 1. UJ unterschiedliche Dominanzwerte, wahrscheinlich als Folge vorangegangener Applikation, auf. Im 2. UJ ist die relative Abundanz zum 1. Termin in  $H_2$  vermindert, zum 3. Termin dagegen erhöht. Umgekehrt liegt 1983 zum 1. Termin der Wert in  $H_2$  niedriger, zum 3. Termin jedoch höher.

Die Dominanz von *Isotomodes productus* ist vor allem in den Jahren 1982–1985

in der herbizidbehandelten Variante geringer. Bei *Sminthurinus elegans* kommt es im Mai 1983 zu erhöhter, im Mai 1984 dagegen zu geringerer relativer Abundanz in H<sub>2</sub>. Mit 21,0 % in H<sub>2</sub> gegenüber 16,3 % in der Kontrolle liegt bei *Folsomia fimetaria* im April 1982 die größte Differenz zwischen den Herbizidvarianten vor.

Zu erwähnen bei *Friesea mirabilis* ist die geringere relative Abundanz in H<sub>2</sub> zum 1. Untersuchungstermin 1984.

Ähnlich wie bei den Collembola kommt es auch bei den Acari (exkl. *Gamasina*) zu Dominanzverschiebungen nach Herbizidapplikation (Abb. 11). Ursache ist auch hier hauptsächlich die unterschiedlich starke Dichteminderung bei den Arten.

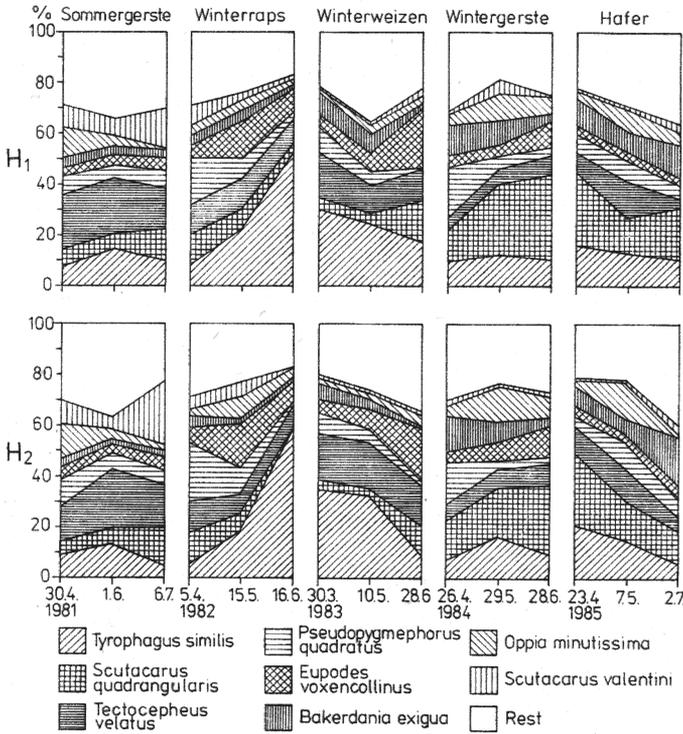


Abb. 11. Relative Abundanz ausgewählter Arten der Acari (exkl. *Gamasina*) unter dem Einfluß der Herbizidapplikation

So verringert sich im 3. UJ im Juni die Dominanz von *Tyrophagus similis* von 18,5 % auf 9,7 % infolge nur halb so hoher Individuenzahl in H<sub>2</sub>. Die Dominanz von *Scutacarus quadrangularis* ist besonders im Juni 1983, Mai und Juni 1984 und Juli 1985 unter Herbizideinwirkung eingeschränkt. *Tectocephus velatus* weist im 3. UJ in H<sub>2</sub> erhöhte relative Abundanz auf. Dabei steht zum 2. Termin dem Wert von 11,3 % in der Kontrolle der von 18,4 % in H<sub>2</sub> gegenüber.

Augenscheinlich höher ist die Dominanz von *Pseudopygmephorus quadratus* in der herbizidbehandelten Variante zum 1. Termin 1982. *Eupodes voxencollinus* zeigt im Mai 1982 erhöhte Dominanz in H<sub>2</sub>, jedoch einen geringeren Wert gegenüber der Kontrolle im Juni 1983. Geringere Dominanz infolge von Herbizidapplikation ist bei *Bakerdania exigua* im 3. UJ zu erkennen. Im Juli 1985 übertrifft dagegen der Wert in H<sub>2</sub> die Kontrolle. Bei *Oppia minutissima* lassen sich erhöhte Dominanzwerte in H<sub>2</sub> 1982, 1984 und 1985 jeweils zum 2. Untersuchungstermin feststellen.

Auffallend erhöht ist die relative Abundanz von *Scutacarus valentini* im Juli 1981. Die Werte betragen 17,2 % (Kontrolle) und 25,8 % (H<sub>2</sub>).

Bei den *Gamasina*, den Raubmilben, gestatten lediglich die Abundanzwerte von *Rhodacarellus silesiacus* und größtenteils die von *Arctoseius cetratus* einen Vergleich zwischen den Versuchsvarianten, während die Dichte aller übrigen Arten zu den Untersuchungsterminen zu gering ist. *Rhodacarellus silesiacus* weist in der Tendenz besonders im 2.-4. UJ niedrigere Abundanz unter Herbizideinfluß auf. Geringer beeinflusst zeigt sich *Arctoseius cetratus*. Unterschiede in der Dominanz dieser Arten im Vergleich der Herbizidvarianten (Abb. 12) werden hauptsächlich in den Jahren 1982, 1983 und 1984 deutlich. Während im 2. UJ die Dominanz von *Rhodacarellus silesiacus* zu allen 3 Untersuchungsterminen gegenüber der Kontrolle vermindert ist, hat sich die relative Abundanz von *Arctoseius cetratus* vergrößert. 1983 weist *Rhodacarellus silesiacus* durchgängig höhere Dominanzwerte in H<sub>2</sub> auf, zum 2. und 3. Termin 1984 liegen diese jedoch wiederum unter den Werten in der Kontrolle, wobei die Dominanz von *Arctoseius cetratus* zugenommen hat.

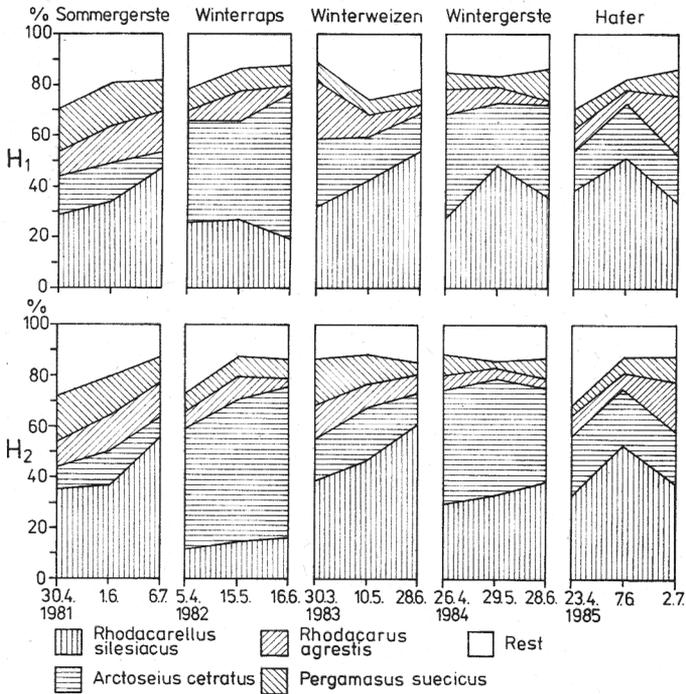


Abb. 12. Relative Abundanz ausgewählter Arten der *Gamasina* unter dem Einfluss der Herbizidapplikation

Resultierend aus der durch die Herbizidgaben zeitweilig veränderten relativen Abundanz der Arten und des darauf basierenden partiellen Informationsmaßes ( $h_i$ -Wert) kommt es zu Veränderungen auch anderer Strukturmerkmale. Neben den pauschalen Strukturparametern Komplexität, Evenness und Informationsunterschied, auf welche im folgenden Abschnitt gesondert eingegangen wird, zeigen sich Unterschiede in der Artenrangfolge.

Unter der Artenrangfolge wird in diesem Zusammenhang die Reihenfolge der Arten innerhalb der Zönosen Collembola, Acari (exkl. *Gamasina*) und *Gamasina*, geordnet nach fallenden  $h_i$ -Werten verstanden. Ein Beispiel für veränderte Rangfolgen

der dominierenden Arten nach Herbizidapplikation bei den Acari (exkl. *Gamasina*) gibt Tabelle 3.

Tabelle 3. Rangfolgen und partielle Informationsmaße dominierender Arten der Acari (exkl. *Gamasina*) in den Versuchsvarianten H<sub>1</sub> (Kontrolle) und H<sub>2</sub> (behandelt) zu unterschiedlichen Terminen im Untersuchungszeitraum

H <sub>1</sub>		H <sub>2</sub>		H <sub>1</sub>		H <sub>2</sub>	
Art <sup>1</sup>	$h_i$	Art	$h_i$	Art	$h_i$	Art	$h_i$
T s	0,362	T s	0,367	E v	0,339	E v	0,349
T v	0,311	T v	0,309	T s	0,314	T v	0,319
P q	0,223	P q	0,204	S q	0,297	S q	0,290
B e	0,215	B e	0,165	T v	0,269	T s	0,258
E v	0,156	E v	0,165	C c	0,127	O m	0,178
S q	0,144	H f	0,143	S v	0,109	C c	0,086
H f	0,118	S q	0,117	O m	0,102	P q	0,077
März 1983		Applikation 22. 4. 1983		Juni 1983			

H <sub>1</sub>		H <sub>2</sub>	
Art	$h_i$	Art	$h_i$
P q	0,324	P q	0,303
B e	0,261	S q	0,298
S q	0,258	B e	0,278
T s	0,236	T s	0,193
C d	0,163	T v	0,178
T v	0,152	O m	0,145
E v	0,152	E v	0,132
April 1984		Applikation 4. 5. 1984	

- <sup>1</sup> B e *Bakerdania exigua* (Mahunka 1969)  
 C c *Coccorhagidia clavifrons* (Canestrini 1886)  
 C d *Claveupodes delicatus* Strandtmann und Prasse 1976  
 E v *Eupodes voxencollinus* Sig Thor 1934  
 H f *Histiostoma teronarium* (Dufour 1939)  
 O m *Oppia minutissima* Sellnick 1950  
 P q *Pseudopygmephorus quadratus* (Ewing 1917)  
 S q *Scutacarus quadrangularis* (Paoli 1911)  
 S v *Scutacarus valentini* Balogh und Mahunka 1963  
 T s *Tyrophagus similis* Volgin 1949  
 T v *Tectocephus velatus* Michael 1880

Vor der Applikation 1983 ist die Reihenfolge bis auf den Wechsel der Ränge 6 und 7 durch *Scutacarus quadrangularis* und *Histiostoma teronarium* identisch. Größere Differenzen zeigen sich 9 Wochen nach dem Herbizideinsatz zwischen den Versuchsvarianten. *Tyrophagus similis* und *Tectocephus velatus* tauschen die Plätze 2 und 4. Gehemmt in H<sub>2</sub> erscheinen außerdem *Coccorhagidia clavifrons* und *Scutacarus valentini*, während *Oppia minutissima* und *Pseudopygmephorus quadratus* an Einfluß gewinnen.

Umschichtungen in der Artenrangfolge sind auch noch im April 1984, 1 Jahr nach der vorangegangenen Applikation, festzustellen. Hier fällt *Bakerdania exigua* von der 2. Stelle in H<sub>1</sub> zurück an die 3. in H<sub>2</sub>. Weiterhin verliert *Claveupodes delicatus* an Stellenwert. *Scutacarus quadrangularis*, *Tectocephus velatus* und *Oppia minutissima*

zeigen sich unter Herbizideinfluß gefördert, während *Pseudopygmephorus quadratus*, *Tyrophagus similis* und *Eupodes voxencollinus* relativ unbeeinflußt bleiben.

Analoge Entwicklungen lassen sich auch bei den Collembola zu verschiedenen Zeitpunkten des Untersuchungszeitraumes verfolgen. Ungleich seltener und schwächer waren die Veränderungen in der Reihenfolge der dominanten *Gamasina*, vor allem bedingt durch die stets hohe Dominanz von *Rhodacarellus silesiacus* und *Arctoseius cetratus* in beiden Versuchsvarianten (vgl. Abb. 12).

#### 3.3.1.4. Pauschale Strukturparameter

Die Arten-Diversität der Collembola (Abb. 13 a) schwankt in der Kontrollvariante im Vergleich der Untersuchungstermine im Bereich von 1,605 (3. Termin/1985) bis 2,235 (2./81), die Evenness von 0,626 (3./1985) bis 0,806 (2./81). In diesen Intervallen bewegen sich ebenfalls die Werte in H<sub>2</sub>, jedoch sind zu einzelnen Terminen Unterschiede im Vergleich der Versuchsvarianten festzustellen. Im 1. UJ fällt zunächst die zum 3. Termin in H<sub>2</sub> geringere Komplexität und Evenness auf. Hauptursache dafür ist die in H<sub>2</sub> höhere relative Abundanz von *Isotoma notabilis* und der *Mesaphorura krausbaueri*-Gruppe (vgl. Abb. 10), welche zusammen 66,8 % gegenüber 56,3 % in der Kontrolle beträgt.

Geringere Werte zum 3. Termin 1982 sind vor allem auf die in H<sub>2</sub> mit 35,3 % gegenüber 25,5 % in H<sub>1</sub> höhere relative Häufigkeit der zu diesem Zeitpunkt in beiden Varianten 1. Dominante *Isotoma notabilis* zurückzuführen.

Auch im weiteren Verlauf des Untersuchungszeitraumes, besonders aber im 4. und 5. UJ läßt sich die Tendenz geringerer H'- und e-Werte in H<sub>2</sub> verfolgen. Verbunden mit den nur geringen Unterschieden in den Artenzahlen deutet dies darauf hin, daß sich die als Dominante mit der höchsten ökologischen Potenz ausgestatteten Arten am besten an die durch Herbizidapplikation veränderten Bedingungen anpassen können und damit eine relativ breitere Entfaltung erfahren.

Dennoch sind die durch Herbizideinsatz verursachten Strukturveränderungen bei den Collembolen als insgesamt verhältnismäßig gering zu bezeichnen. Dies geht vor allem aus den  $\Delta H'(ld)$ -Werten hervor. Die Dominanzunterschiede gegenüber der unbehandelten Kontrolle betragen im Mittel der Untersuchungstermine 2,0 %; der Höchstwert lag mit 3,5 % im Mai 1982 (vgl. Abb. 10 unten).

Die Komplexitätswerte der Acari (exkl. *Gamasina*) liegen in der Kontrollvariante im allgemeinen höher als bei den Collembolen (vgl. Abb. 13 b). Auffallend sind der geringe H'- und e-Wert im Juni 1982, hervorgerufen durch die Übervermehrung von *Tyrophagus similis*, der zu diesem Zeitpunkt 54,6 % Anteil an der Gruppenabundanz der Milben (exkl. *Gamasina*) innehat. Beim Vergleich der Versuchsvarianten lassen sich 1983 und 1985 in H<sub>2</sub> geringere, 1984 jedoch erhöhte Werte feststellen. 1982 sind die Werte fast identisch. Nach anfänglich in H<sub>2</sub> höherer Komplexität vor allem als Folge größerer Artenzahlen (vgl. Abb. 9) ist diese zum 3. Termin 1981 niedriger als in H<sub>1</sub>. Dazu trägt neben der geringeren Artenzahl in der herbizidbehandelten Variante die höhere Dominanz von *Bakardania exigua* (vgl. Abb. 11) bei.

Geringere Arten-Diversität in H<sub>2</sub> im 3. UJ zum 2. Termin entsteht vor allem im Ergebnis der höheren relativen Häufigkeit von *Tyrophagus similis* und *Tectocephus velatus*. Zusammen beträgt deren Anteil an der Gruppenabundanz in H<sub>1</sub> = 36,0 % und in H<sub>2</sub> = 51,7 %. Die gleichzeitig geringeren Artenzahlen tragen einerseits zum Absinken der Diversität, andererseits zu einer relativ geringeren Differenz in den e-Werten bei. Hauptsächlich auf die niedrigeren Artenzahlen lassen sich die in H<sub>2</sub> im Vergleich zur Kontrolle verminderte Komplexität und gleichzeitig erhöhte Evenness zum 3. Termin 1983 zurückführen.

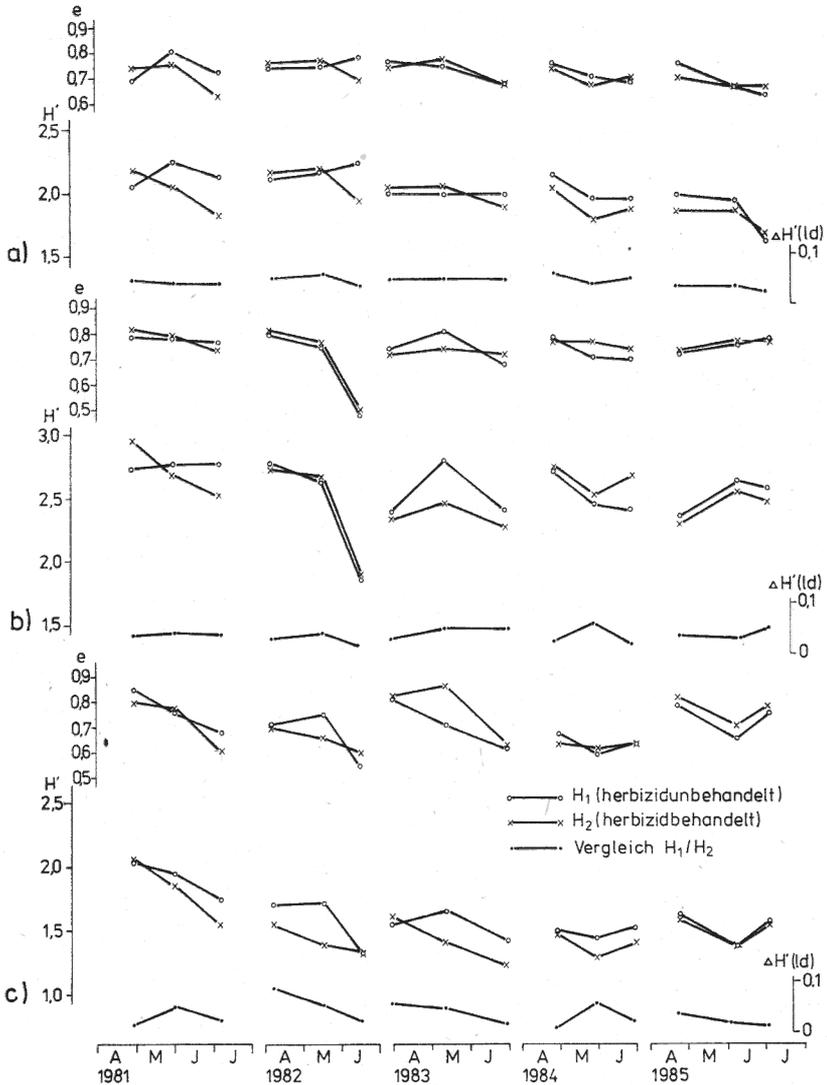


Abb. 13. Pauschale Strukturparameter für Collembola (a), Acari (exkl. *Gamasina*) (b), *Gamasina* (c) in den Varianten H1 (herbizidunbehandelt) und H2 (herbizidbehandelt)

Auffallend im 4. UJ ist die im Juni in der herbizidbehandelten Variante höhere Diversität trotz geringerer Artenzahlen. Diese wird zum größten Teil hervorgerufen durch die mit 27,4 % gegenüber 33,6 % in der Kontrolle niedrigere Dominanz von *Scutacarus quadrangularis*.

Die unter der Kontrolle liegenden  $H'$ -Werte in  $H_2$  im 5. UJ bei  $\pm$  gleichen e-Werten resultieren vor allem aus den in  $H_2$  geringeren Artenzahlen.

Im Vergleich zu den Collembolen sind die Informationsunterschiede zwischen den Versuchsvarianten bei den Acari (exkl. *Gamasina*) etwas größer, jedoch mit durchschnittlich 3,5 % und einem Maximalwert von 5,5 % im Mai 1984 auch als relativ gering anzusehen.

Die bei den *Gamasina* zum Teil größer als bei den Collembolen und restlichen Milben erscheinenden Differenzen der  $H'$ - und  $e$ -Werte zwischen den Versuchsvarianten sowie die teilweise höheren Informationsunterschiede müssen, wie die Veränderungen in der Dominanz einzelner Arten, unter dem Gesichtspunkt der verhältnismäßig geringen Gruppenabundanz der *Gamasina* betrachtet werden. Schon relativ geringe Strukturveränderungen kommen in den Werten ungleich stärker zum Ausdruck.

Auch bei den *Gamasina* überwiegen im Untersuchungszeitraum niedrigere Diversitätsindizes, verbunden mit verminderter Evenness, größtenteils infolge relativ breiterer Entfaltung entweder von *Rhodacarellus silesiacus*, *Arctoseius cetratus* oder von beiden in der herbizidbehandelten Variante (vgl. Abb. 13 c). Die angeglichenen  $H'$ -Werte im 5. UJ stimmen mit den fast identischen Abbildungen der relativen Abundanz der dominanten Arten in den Versuchsvarianten überein (vgl. Abb. 12).

Eine Ausnahme stellen die Werte im Mai 1983 dar. Im Vergleich zur Kontrolle ist die Komplexität in  $H_2$  vermindert, die Evenness erhöht. Ursache dafür ist die in  $H_2$  nur halb so hohe Artenzahl, welche eine gleichmäßigere Verteilung der Individuen auf die verbleibenden Arten bewirkt. Der Informationsunterschied zwischen  $H_1$  und  $H_2$  beträgt bei den *Gamasina* im Durchschnitt aller Untersuchungstermine 3,4 % mit einem Höchstwert von 8,6 % im April 1982.

### 3.3.2. Mikroorganismen und bodenenzymatische Aktivitäten

Die Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassend einschätzen (vgl. Abb. 14). In den Jahren 1981 bis 1983 führte die Anwendung der Herbizide nur zu einer geringfügigen Beeinflussung der mikrobiellen Aktivitäten des Bodens. 1983 und im darauf folgenden Jahr wurde SYS Gebifan angewendet, eventuell ist dies die Ursache des positiven Einflusses auf die Besiedlungsdichte der Bodenpilze und 1985 auch der Bakterien zum Zeitpunkt des 2. Untersuchungstermins. Gleichzeitig ergab die Pestizidrückstandsanalyse sehr geringe oder in

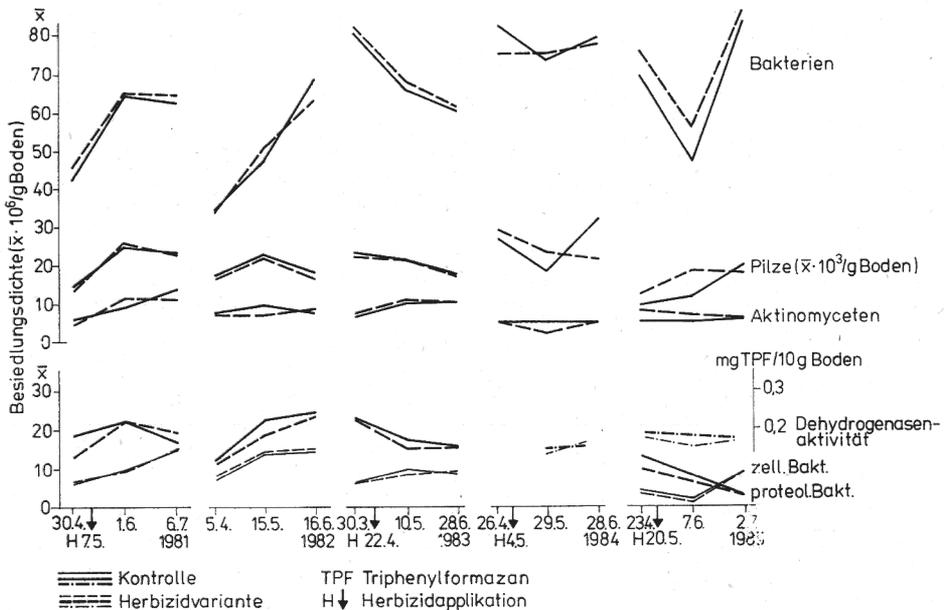


Abb. 14. Dynamik der Besiedlungsdichte von Bodenmikroorganismen und der Dehydrogenaseaktivität im Zeitraum 1981–1985

Spuren vorkommende Mengen des Mittels. Somit bestätigen diese langjährigen Untersuchungen die bekannte Tatsache, daß dem intensiven Mittelabbau eine spätere Anpassung und Vermehrung der Mikroben mit einem baldigen Abklingen dieser Effekte folgt (Wallnöfer 1970, Burns et al. 1980). Hierin findet sich eine Übereinstimmung mit den Ergebnissen des Untersuchungsraumes 1976–1980 (vgl. Mahn et al. 1983). Da die Herbizide in der Praxisdosis zur Anwendung kamen, war unter Freilandbedingungen nur mit geringfügigen Abweichungen der behandelten Variante von der Kontrolle zu rechnen. Sogar solch ein empfindliches Parameter, wie die Dehydrogenaseaktivität, blieb unbeeinflusst. Da die gewählten mikrobiologischen Kennwerte auf acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen ansprechen, ist davon auszugehen, daß auf dem geprüften Standort die Herbizide keine längerzeitlichen Veränderungen bei den Mikroorganismen im Untersuchungszeitraum bewirkt haben.

### D i s k u s s i o n

Unsere Untersuchungsergebnisse weisen aus, daß sich auch bei Einsatz von Herbiziden geringer Persistenz, wie sie während unseres Untersuchungszeitraumes zur Anwendung kamen, neben primären Wirkungen bei der angesteuerten Zielgruppe (Segetalzönose) sekundäre Wirkungen auf verschiedenen Trophieebenen feststellen lassen.

#### Produzenten

Von Beginn des Versuchsprogrammes an bleiben die zwischen Kontrolle und Behandlungsvarianten bestehenden strukturellen Unterschiede der Segetalzönose (Individuenzahl, Biomasse) bei annuell unterschiedlichem Grad der Abweichung bestehen und verändern sich tendentiell nicht. Die Segetalzönose vermag also offenbar nicht bei fehlender Herbizidbehandlung, ihren Anteil an der Zönosestruktur insgesamt langfristig gesehen auf Kosten der Kulturart unter den gegebenen Versuchsbedingungen weiter zu erhöhen.

Anders sieht dies aus, wenn man die Elemente der Segetalzönose als einzelne betrachtet. Hier sind bereits mittelfristig unterschiedliche Tendenzen zu erkennen, die sich folgenden Mustern zuordnen lassen:

- Arten mit regelmäßiger Beteiligung an der Zönosestruktur. Der Anteil ihrer Populationen an der Zönosestruktur wird vor allem durch die Faktoren Witterung, Länge des Entwicklungszyklus und Konkurrenz entscheidend beeinflusst. Bei ungeeigneten Kontrollmaßnahmen (chemischen bzw. mechanischen) ist oft innerhalb kurzer Zeiträume eine starke Förderung der Populationsentwicklung möglich (z. B. *Galium aparine*).
- Arten, deren Entwicklung in  $\pm$  enger Beziehung zur jeweiligen Kulturart steht. Typische Beispiele sind die sommerannuellen Vertreter (*Fallopia convolvulus*, *Chenopodium album*), die sich infolge ihres späten Startzeitpunktes und dadurch verspäteten Biomasseaufbaus gegenüber ihren Mitkonkurrenten in Winterkulturen (Kulturart wie Unkräuter) nicht durchzusetzen vermögen.
- Arten, die im Untersuchungszeitraum eine tendentielle Veränderung (Zunahme) ihres Strukturanteiles aufweisen (z. B. *Cirsium arvense*, *Viola arvensis*). Veränderungen dieser Art können für die Segetalzönose als typische Beispiele akkumulativ (sekundär) bedingter Wirkungen des mehrjährigen Einsatzes von Herbiziden genannt werden. Die quantitative Analyse des zeitlichen Verlaufs derartiger Populationsentwicklungen verdient im Hinblick auf eine gezielte Steuerung der notwendigen Pflanzenschutzmaßnahmen besondere Beachtung.

Unsere Untersuchungen zum Einfluß des Herbizideinsatzes auf den Kornertrag der Kulturart bestätigen die Ergebnisse vorangehender Untersuchungen bezüglich der Notwendigkeit, an Stelle der derzeit vielfach noch üblichen „prophylaktischen“ Her-

bizidbekämpfungsmaßnahmen eine quantitativ reduzierte, an ökologisch/ökonomischen Schwellenwerten orientierte Kontrolle der Segetalzönose treten zu lassen.

#### Destruenten

Die Anwendung von MCPA und Dichlorprop verursachte im Untersuchungszeitraum bei den Mikroarthropoden z. T. statistisch zu sichernde Dichteverringierungen. Dabei wurden die einzelnen Gruppen zu verschiedenen Zeitpunkten unterschiedlich stark beeinflusst. Es konnten sowohl kurzfristige (wenige Wochen nach Applikation) wie längerfristige Wirkungen (im Folgejahr) festgestellt werden. Ergebnisse vorangegangener Untersuchungen können in ihren grundlegenden Aussagen zur Herbizid-einwirkung auf Mikroarthropoden bestätigt werden (Helmecke et al. 1979, Mahn et al. 1983, Prasse 1978, 1979, 1985).

Ursache der Veränderungen bei Collembolen- und Milbengemeinschaften sind überwiegend indirekte Wirkungen, die vor allem aus der Vernichtung der Unkräuter mit nachfolgender Veränderung der die Bodenfauna beeinflussenden Faktoren resultieren.

Überwiegend indirekte Wirkungen von Herbiziden auf die Bodenmesofauna werden auch von anderen Autoren angenommen (Rapoport und Ganglioni 1963, Fox 1964, Davis 1965, Edwards 1967, Eijsackers u. van der Drift 1976).

Als mögliche indirekte Wirkungen auf die Mikroarthropodenfauna sind zu nennen:

1. Mikroklimatische Veränderungen infolge geringeren Bedeckungsgrades des Bodens.
2. Bodenphysikalische Veränderungen infolge geringerer Durchwurzelung des Bodens.
3. Einengung des Nahrungsangebotes vor allem durch Wegfall von Wurzelrückständen der Unkräuter.

#### Zu 1.:

Der Veränderung mikroklimatischer Faktoren (Bodenfeuchte, Bodentemperatur) durch Wegfall eines Teiles der Vegetationsdecke dürfte insbesondere in Perioden mit geringen Niederschlägen und intensiver Sonneneinstrahlung Bedeutung zukommen, wie sie für die Trockenperioden der Jahre 1982 und 1983 kennzeichnend sind. Auf veränderte Bodenfeuchte reagieren Bodenmikroarthropoden z. T. sehr empfindlich (vgl. Dunger 1983). Interessant in diesem Zusammenhang ist, daß die Oribatiden, welche u. a. von Wink (1969) als relativ trockenheitsunempfindlich bezeichnet werden, in der bereits erwähnten Trockenheitsperiode im 3. UJ zum 3. Untersuchungstermin bei niedrigerer Gesamtabundanz der Collembolen- und Milbengemeinschaft in der herbizidbehandelten Variante die Tendenz zu höheren Individuenzahlen gegenüber der Kontrolle aufwiesen.

#### Zu 2.:

Von den bodenphysikalischen Parametern hat das Porenvolumen, und zwar vor allem der Anteil an Grob- und Mittelporen, entscheidenden Einfluß auf Dichte und Verteilung der Bodenmesofauna, da bis auf Ausnahmen die Tiere nicht selbst Bodengänge zu graben vermögen (vgl. Dunger 1983). Wenn auch nicht angenommen werden kann, daß die Anwesenheit einer stärkeren Unkrautzönose den Boden zwischen den Kulturpflanzenreihen in entscheidendem Maße zu lockern vermag, so wirkt sie doch wahrscheinlich der im Verlaufe der Vegetationsperiode ständig zunehmenden Dichtelagerung der Bodenteile entgegen und trägt somit zur Erhaltung des Lebensraumes der Tiere bei.

#### Zu 3.:

Sauerbeck und Johnen (1976) stellten fest, daß die von annualen Kulturpflanzen in der Vegetationsperiode für den laufenden mikrobiellen Abbau im Boden verfügbare

Substanzmenge, die in erster Linie aus abgestorbenen Wurzelteilen und Wurzel-exsudaten besteht, um das 3- bis 4fache größer sein kann als die nach der Ernte noch im Boden gefundene Menge an Wurzelresten. Obwohl gleichartige Untersuchungen an Unkräutern nicht bekannt sind, muß angenommen werden, daß ähnliches auch für diese gilt. Durch die Beseitigung eines Großteils der Unkrautzönose kann es dadurch in zweifacher Hinsicht zu einer Einengung des Nahrungsangebotes kommen, zum einen durch die ausgefallene organische Substanz von den Unkrautwurzeln, zum anderen durch den damit verbundenen Wegfall von Rhizosphärenmikroflora. Wenn auch im Untersuchungszeitraum kein wesentlicher Einfluß der Herbizideinsätze auf die Gesamtzahl von Bakterien, Pilzen und Actinomyceten des Bodens festgestellt werden konnte (vgl. Abschnitt 3.3.2.), ist doch nicht ausgeschlossen, daß es innerhalb dieser Gruppen zu Umschichtungen in der Dominanzstruktur kam, welche ihrerseits das Nahrungsangebot der Bodenmesofauna beeinflussten.

Hinsichtlich des Herbizideinflusses auf Mikroorganismen ließen sich unter den Bedingungen während unseres Untersuchungszeitraumes im wesentlichen nur kurzzeitliche Wirkungen feststellen, die allerdings durch Untersuchungen zur Dynamik wichtiger Einzelarten weiter zu untersetzen sind.

### Z u s a m m e n f a s s u n g

In einem 5jährigen Untersuchungszyklus wurden primäre und sekundäre Wirkungen des Einsatzes von Herbiziden geringer Persistenz auf verschiedenen Strukturebenen eines Modell-Agro-Ökosystems analysiert. Als Folge des Herbizideinsatzes ließen sich neben den zu erwartenden kurzzeitlichen auch längerfristige Veränderungen von Zönosestrukturen wie der Populationsentwicklung einzelner Elemente nachweisen. Letztere sind zum größeren Teil als indirekte Wirkungen zu kennzeichnen und verdienen sowohl in bezug auf die Kontrolle der angesteuerten Zielgruppe (Unkräuter) aus der Sicht der Schaderregerüberwachung wie im Hinblick auf die quantifizierte Erfassung möglicher ökologischer Nebenwirkungen auf anderen Strukturebenen bei langzeitlicher Herbizidapplikation besondere Beachtung.

### S u m m a r y

Within a 5-years cycle the primary and secondary effects of the application of low-persistent herbicides on different structural levels of a model-agro-ecosystem have been analysed. In dependence on the application of herbicides short and long-term changes have been observed concerning the coenotic structures and the development of populations of single species. The most part of the latter are to be ascribed to indirect effects. They deserve special attention with respect to the control of weeds and with regard to a quantified evaluation of possible ecological side effects on organismus of other structural levels effected by the long-term application of herbicides.

### S c h r i f t t u m

- Burns, R. G., and W. P. Gibson: The disappearance of 2,4-D, diallate and malathion from soil and soil compounds. *Agrochem. Soils Oxford* (1980) 149-159.
- Davis, B. N. K.: The immediate and long-term effects of the herbicide MCPA on soil arthropods. *Bull. Ent. Res.* **56** (1965) 357-366.
- Dunger, W.: *Tiere im Boden*. Wittenberg: A. Ziemsen Verlag 1983.
- Edwards, C. A.: The effect of herbicides on soil invertebrates. 5th ed. *Weed Control Handbook*. London: Blackwell 1967, 174-175.
- Eijsackers, H. J. P., and J. van der Drift: Effects on the soil fauna. In: Audus, L. J. (ed.): *Herbicides (Physiology, Biochemistry, Ecology)*. Vol. 2. London/New York/San Francisco: Academic Press 1976, 149-174.
- Fox, C. J. S.: The effects of five herbicides on the numbers of certain invertebrate animals in grassland soil. *Can. J. Pl. Sci.* **44** (1964) 405-409.

- Gerowitt, B., H. Bodendörfer und R. Heitefuß: Zur Wirtschaftlichkeit des Herbizideinsatzes im Getreide – Auswertung von Versuchen des Pflanzenschutzdienstes aus den Jahren 1977–1981. *Z. Pflanzenkrankh. Pfl.schutz, Sonderh. X* (1984) 127–135.
- Helmecke, K., B. Hickisch, E. G. Mahn, J. Prasse und G. Sternkopf: Beiträge zur Wirkung des Herbizideinsatzes auf Struktur und Stoffhaushalt von Agro-Ökosystemen. I. Zur Beeinflussung von Phytozönosen und Bodenorganismengemeinschaften nach mehrjährigem Herbizideinsatz. *Hercynia N. F.* **14** (1977) 375–398.
- Helmecke, K., und E. G. Mahn: Veränderungen der Populationsdynamik ausgewählter Segetalarten in Agrophytozönosen durch Herbizide. *Wiss. Z. Univ. Halle XXXIII '84 M* (1984) 3–20.
- Hurle, K.: Weed control in plant production systems. *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent.* **50/2a** (1985) 196–202.
- Kemter, A.: Untersuchungen zum Einfluß von Stickstoffversorgung und Herbizidbehandlung auf die Struktur und Dynamik von Agro-Phytozönosen des Modells Etzdorf im Zeitraum 1981–85 unter besonderer Berücksichtigung der Populationsdynamik von *Papaver rhoeas* L. *Dipl. Arb. Halle (Mskr.)* 1986.
- Mahn, E. G.: The influence of different nitrogen levels on the productivity and structural changes of weed communities in agro-ecosystems. *7th Intern. Symp. Weed Biol. Ecol. System.* (1984) 421–429.
- Mahn, E. G.: Gegenwärtige Tendenzen struktureller Wandlungen der Phytozönose von Agro-Ökosystemen durch agrochemische Intensivierungsmaßnahmen. *Hercynia N. F.* **23** (1986) 193–211.
- Mahn, E. G., K. Germershausen, K. Helmecke, B. Hickisch, A. Kästner, J. Prasse und G. Sternkopf: Kurzzeitliche und längerfristige Veränderungen von Zönosestrukturen in Agro-Ökosystemen bei mehrjährigem Herbizideinsatz. *Wiss. Z. Univ. Halle XXXII '83 M* (1983) 69–96.
- Malkomes, H.-P.: Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. In: *Pflanzenschutzmittel und Boden. Ber. Landwirtschaft N. F.* **198**, Sonderh. (1985) 134–147.
- Marshall, E. J. P.: Field and field edge floras under different herbicide regimes at the Boxworth E. H. F. – Initial studies. *British crop protection conf. – weeds* 813–4 (1985) 999–1006.
- Pötsch, J., und K.-D. Busch: Großräumige vegetationskundliche Untersuchungen zur Erfassung von Veränderungen der Ackerunkrautvegetation. *Arch. Natursch. Landschaftsforsch.* **25** (1985) 237–246.
- Prasse, J.: Die Struktur von Mikroarthropodenzönosen in Agro-Ökosystemen und ihre Beeinflussung durch Herbizide. *Pedobiologia* **18** (1978) 381–383.
- Prasse, J.: Ökologische Untersuchungen an Collembolen und Milben eines Ackerbodens unter besonderer Berücksichtigung ihrer faunistischen Struktur und ihre Beeinflussung durch kontinuierliche Herbizidanwendung. *Diss. B. MLU Halle* 1979.
- Prasse, J.: Indications of structural changes in the communities of microarthropods of the soil in an agro-ecosystem after applying herbicides. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **13** (1985) 205–215.
- Rapoport, E. H., and G. Cangioli: Herbicides and the soil fauna. *Pedobiologia* **2** (1963) 235–238.
- Sauerbeck, D., und Johnen, B.: Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur „Bodenatmung“. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* **3** (1976), 315–328.
- Stöcker, G., und A. Bergmann: Ein Modell der Dominanzstruktur und seine Anwendung. 1. Modellbildung, Modellrealisierung, Dominanzklassen. *Arch. Natursch. Landschaftsforsch.* **17** (1977) 1–26.
- Sturny, W. G., U. Zanoni und E. R. Richter: Langjähriger Einfluß von Fruchtfolge-, Düngungs- und Unkrautbekämpfungsmaßnahmen auf die Zusammensetzung der Unkrautflora. *Z. Pflanzenkrankh. Pfl.schutz, Sonderh. X* (1984) 41–50.
- UDL: Umweltprobleme der Landwirtschaft. Stuttgart u. Mainz: Verlag Kohlhammer 1985.

- Wahmhoff, W., und R. Heitefuß: Der Einfluß der Berücksichtigung von Schadensschwellen für Unkräuter in Wintergerste auf Kornertrag, Qualität des Erntegutes, Erntetechnik und Wirtschaftlichkeit der Unkrautbekämpfung. Z. Pflanzenkrankh. Pfl.schutz, Sonderheft X (1984) 137-148.
- Wallnöfer, P.: Die Wirkung von Herbiziden auf die Bodenmikroflora. Z. Pflanzenkrankh. Pfl.Path. Pfl.Schutz, Sonderh. 5 (1970) 23-27.
- Wink, U.: Die Collembolen- und Oribatidenpopulationen einiger saurer Auböden Bayerns in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit. Z. angew. Ent. 64 (1969), 121-136.
- Zeddies, J.: Wirtschaftliche Bedeutung der Unkrautbekämpfung unter zukünftigen Rahmenbedingungen. Sympos. Wirtschaftliche Unkrautbekämpfung, EWRS Proceedings (1986) 39-45.

Doz. Dr. E. G. Mahn  
Dr. K. Helmecke

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Sektion Biowissenschaften  
WB Geobotanik  
Neuwerk 21  
Halle (Saale)  
DDR - 4020

Prof. Dr. J. Prasse  
Dr. G. Machulla  
Dipl.-Agr. O. Rosche

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Sektion Pflanzenproduktion  
WB Standortkunde  
Lehrstuhl Bodenkunde und Mikrobiologie  
Weidenplan 14  
Halle (Saale)  
DDR - 4020

Doz. Dr. G. Sternkopf

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg  
Sektion Pflanzenproduktion  
Zentrallabor  
Emil-Abderhalden-Straße 25 b  
Halle (Saale)  
DDR - 4020